



Approche de la miniaturisation d'antennes par la mise en œuvre de matériaux magnéo-diélectriques semi-denses et faibles pertes.

Emmanuel Le Guen, Jean-Luc Mattei, Thierry Le Gouguec, Anne-Claude Tarot

► To cite this version:

Emmanuel Le Guen, Jean-Luc Mattei, Thierry Le Gouguec, Anne-Claude Tarot. Approche de la miniaturisation d'antennes par la mise en œuvre de matériaux magnéo-diélectriques semi-denses et faibles pertes.. Journées Nationales Microondes 2015, Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01164685

HAL Id: hal-01164685

<https://hal.univ-brest.fr/hal-01164685>

Submitted on 17 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

19^{èmes} Journées Nationales Microondes 2-5 Juin 2015 - Bordeaux

Approche de la miniaturisation d'antennes par la mise en œuvre de matériaux magnéto-diélectriques semi-denses et faibles pertes.

Emmanuel Le Guen^{1,2}, Jean-Luc Mattei¹, Thierry Le Gougec¹, Anne-Claude Tarot²

¹LabSTICC UMR 6285, Université de Bretagne Occidentale, 6 av. Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest Cedex3

²IETR UMR 6164, Université de Rennes 1, Campus de beaulieu, 263 av. du Général Leclerc, 35 042 Rennes Cedex
mattei@univ-brest.fr : correspondant principal

1. Introduction

En raison de la tendance toujours croissante de miniaturisation de dispositifs micro-ondes, la miniaturisation d'antennes se présente comme l'un des défis auxquels font face les concepteurs d'antennes. Dans cet objectif, des substrats à haute permittivité sont employés pour diminuer les dimensions physiques de l'antenne. Toutefois on observe alors une dégradation de l'efficacité de l'antenne, et une diminution de sa bande passante [1,2]. Pour une application aux fréquences inférieures à 1GHz environ, l'emploi de substrats magnéto-diélectriques peut permettre de surmonter ces limitations. En effet il a été montré assez récemment [3] que la contribution de la perméabilité μ' du substrat magnéto-diélectrique conduit à une diminution des pertes totales, contrairement à la permittivité ϵ' , dont l'effet mène à un accroissement des pertes. L'influence défavorable de ϵ' sur l'efficacité de rayonnement (η) et sur la largeur de bande (BW) est donc contrebalancée par l'impact de μ' . Ces impacts sont traduits dans les relations (1) et (2), dans le cas de matériaux avec pertes [3]:

$$BW = \frac{1}{\sqrt{2}} (240 \frac{d}{W} G_r \sqrt{\mu/\epsilon} + tg \delta_\epsilon + tg \delta_\mu) \quad (1)$$

$$\eta = (1 + \frac{tg \delta_\epsilon + tg \delta_\mu}{240 G_r} \frac{W}{d} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}})^{-1} \quad (2)$$

Cette approche présente l'intérêt de prendre en compte les influences des pertes diélectriques ($tg \delta_\epsilon$) et des pertes magnétiques ($tg \delta_\mu$) à la fois. De plus, les dimensions physiques d'une antenne chargée par un magnéto-diélectrique sont abaissées du facteur de miniaturisation n ($n = \sqrt{\epsilon' \mu'}$). Un effet notable supplémentaire est attaché à l'utilisation de magnéto-diélectriques : la contribution de la perméabilité peut permettre de moduler assez aisément l'impédance caractéristique Z

($Z = Z_0 \sqrt{\mu'/\epsilon'}$, où Z_0 représente l'impédance du vide). Il est ainsi possible d'atteindre une impédance réduite Z/Z_0 proche de 1, dans une bande de fréquences qui peut être assez large. Les ferrites spinelles denses présentent $\epsilon' > 1$ et $\mu' > 1$, associées à des pertes magnétiques et

diélectriques modérées à basse fréquences ($f < 200-300\text{MHz}$). A ce titre, ils sont de bons candidats à la miniaturisation d'antennes [4,5]. Cependant les pertes magnétiques sont rédhibitoires au-delà de 300MHz. Au contraire, les magnéto-diélectriques obtenus sous forme semi-dense (avec une porosité proche de 50% vol.), et constitués de grains nanométriques (diamètre=30-40nm) présentent les qualités requises pour des applications à des fréquences allant jusqu'à 800MHz [6]. Nous présentons ici l'évolution des propriétés électromagnétiques d'un matériau de composition donnée ($\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.3}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{1.98}\text{O}_4$), avec la température de recuit (T_M) à laquelle il a été soumis. Nous présentons ensuite l'évolution d'une antenne patch chargée par ces matériaux. Nous montrons enfin que les performances de l'antenne varient avec la température de recuit T_M du substrat, et qu'à une fréquence donnée correspond une température particulière à laquelle l'antenne présente des propriétés optimales.

2. Les propriétés du matériau magnéto-diélectrique et les performances des antennes patch

Des poudres de composition $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.3}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{1.98}\text{O}_4$ ont été tout d'abord synthétisées par voie chimique (méthode de co-précipitation [7]), puis cuites à différentes température T_M ($T_M = 500^\circ\text{C}$, 800°C ou 900°C) après une mise en forme par pressage uniaxial. Les échantillons correspondants sont appelés S1, S2, S3. Ils présentent les formes et dimensions appropriées pour une caractérisation en ligne coaxiale (format APC7). La figure 1 présente les propriétés des matériaux semi-denses S1, S2, S3 obtenus par cuisson à 500°C , 800°C et 900°C respectivement et présentant les porosités respectives 53%, 48%, 46% vol..

En raison de ses médiocres qualités électromagnétiques, qui se manifestent ici au travers d'une valeur faible de la perméabilité, l'échantillon S1 ne fera pas l'objet d'études ultérieures.

3. Les simulations d'antennes patch

Afin d'effectuer l'examen des performances des matériaux dans le cadre de la miniaturisation d'antennes patch, des simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel HFSS. L'épaisseur du patch est de 3mm, les

dimensions de l'élément métallique (qui peut-être rectangulaire) sont repérées par W (Figure 2). Les coefficients de réflexion ainsi obtenus sont présentés Figures 3a et 3b. Pour le matériau S3, en raison des pertes importantes qu'il présente à $f=1\text{GHz}$, la simulation HFSS n'aboutit pas à la détermination de BW.

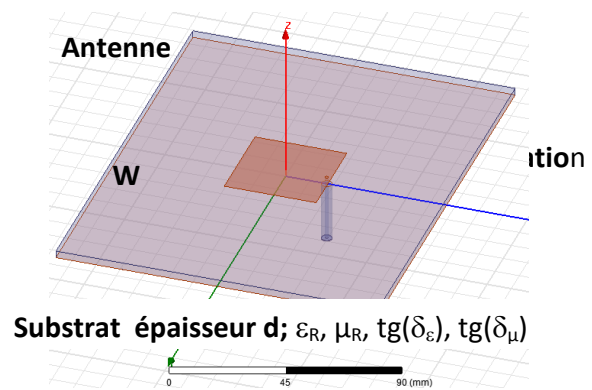


Figure 2. Antenne patch modélisée.

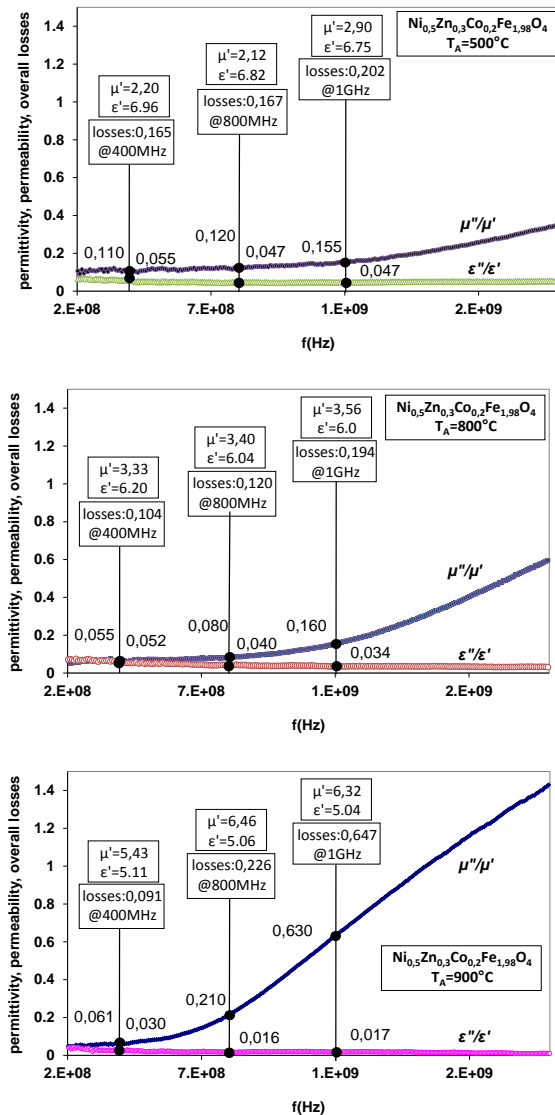


Figure 1. Permeabilité, permittivité, tangentes de pertes magnétiques, diélectriques, et totales à des fréquences données, pour les échantillons S1 ($T=500^\circ\text{C}$), S2 ($T=800^\circ\text{C}$), S3 ($T=900^\circ\text{C}$). Les valeurs pointées pour les fréquences 400MHz, 800MHz et 1GHz sont celles des pertes magnétiques ou diélectriques. Leur somme, représentant les pertes totales, est indiquée dans les cadres.

Les résultats de simulation sont tout d'abord comparés aux valeurs obtenues à l'aide des relations analytiques (1) et (2). Comme le montre le tableau 1, les valeurs de BW, comme celles de η , qui sont issues de la simulation ne sont pas toujours en bon accord avec celles qui sont obtenues par les relations analytiques (1) et (2).

En particulier, les efficacités calculées sont sensiblement plus grandes que les efficacités simulées. Ceci confirme les observations présentées dans la référence [3], selon lesquelles le domaine de validité des relations analytiques (1) et (2), dans le cas d'antennes patch, serait limité à des valeurs de perméabilité μ inférieures à 2 ou 3. Ce domaine de validité s'étend lorsque ce sont les permittivité et perméabilité effectives qui sont employées. Dans le travail présenté ici, nous n'avons pas tenté de rechercher les valeurs effectives des grandeurs constitutives.

Dans un second temps nous comparons entre elles les performances des antennes, afin d'illustrer l'influence que peut avoir la température de cuisson d'un matériau de composition donnée sur les performances de l'antenne, et de tenter d'en dégager des critères de sélection touchant les propriétés des matériaux employés. Les résultats obtenus (Tableau 1) mettent en évidence l'évolution des propriétés de l'antenne avec la température de cuisson T_M du matériau magnéto-diélectrique employé. Le facteur de miniaturisation, qui évolue assez peu avec la température de cuisson, est plus élevé pour le matériau S3 que pour S2. Il en est de même pour l'impédance réduite. La contrainte liée à l'adaptation d'impédance pouvant être relâchée, le choix résulte finalement d'un compromis qui se situe entre BW et η . Ainsi pour une fréquence de fonctionnement de 0.4GHz, si η est à privilégier devant BW, le matériau S3 s'impose, cependant que dans le cas contraire ce sera le matériau S2 qui sera retenu. Dans cet exemple, le matériau S3 présente aussi l'intérêt d'une impédance réduite proche de celle du vide. Pour une fréquence de fonctionnement de 0.8GHz, l'avantage va au matériau S3 dans les deux cas (BW et η sont alors supérieures à celles de S2). Pour $f=1\text{GHz}$, le S3 présente des pertes trop importantes, contrairement à S2 qui sera retenu par défaut.

4. L'apport des propriétés magnétiques du substrat aux performances antennaires

Dans le but d'illustrer l'influence des propriétés magnétiques du substrat sur les propriétés de l'antenne,

nous avons effectué une analyse comparant les propriétés de deux antennes patch, l'une dimensionnée pour une fréquence centrale de fonctionnement à 800MHz, avec un substrat purement diélectrique. Le facteur de miniaturisation a été conservé, tout comme la valeur des pertes totales. Ainsi, afin de confronter l'étude présentée sur la figure 3b (matériau magnétodiélectrique S3 tel que $\epsilon(0.8\text{GHz})=5.06$ et $\mu(0.8\text{GHz})=6.46$, soit $n=\sqrt{5.06 \times 6.46} = \sqrt{32.68} = 5.72$, et avec des pertes totales $\text{tg}\delta=0.016+0.210=0.226$) à celle d'une antenne sur

diélectrique pur, nous avons simulé la réponse d'une antenne patch déposée sur un substrat de caractéristiques suivantes: $\epsilon=32.68$ (donc $n=\sqrt{32.68} = 5.72$), $\text{tg}\delta=0.226$.

Les confrontations entre les résultats obtenus sont présentées sur les figures 4 et dans le tableau 2. Conformément à l'évolution du comportement prévu par les relations (1) et (2), les propriétés de l'antenne sont fortement dégradées lorsque le substrat est purement diélectrique.

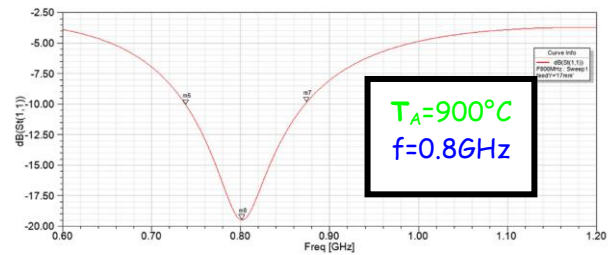
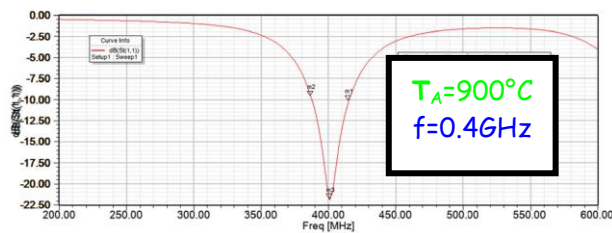


Figure 3a. Coefficients de reflexions (HFSS) d'antennes patch réalisées sur le matériau S3 ($T_A=900^\circ\text{C}$).

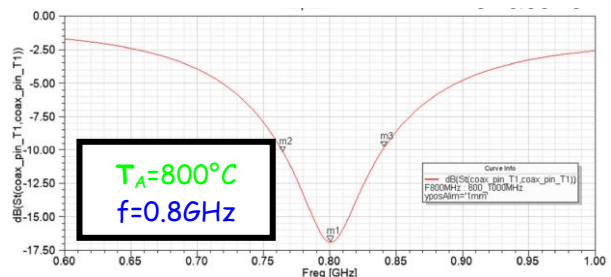
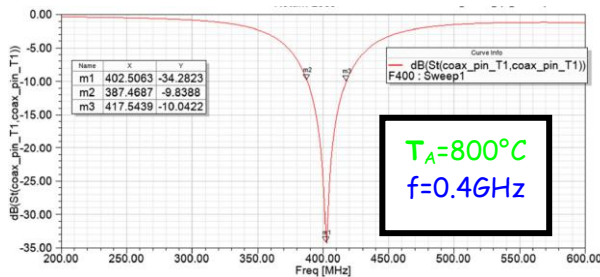


Figure 3b. Coefficients de reflexions (HFSS) d'antennes patch réalisées sur le matériau S2 ($T_A=800^\circ\text{C}$).

	Propriétés des matériaux				Performances des antennes (%) - relations (1) et (2) / HFSS		
	$n=(\epsilon'\mu')^{0.5}$	$Z/Z_0=(\mu'/\epsilon')^{0.5}$			W (mm)	BW	η
f=0,4GHz	4,54 (S2)	5,26	0,73 (S2)	1,03	86x86 (S2)	8,2 / 7,5 (S2)	1,7 / 6,1 (S2)
		(S3)	(S3)		95x75 (S3)	7,3 / 6,5 (S3)	2,6 / 12,8 (S3)
f=0,8GHz	4,28 (S2)	5,72	0,75 (S2)	1,13	44,6x44,6 (S2)	10,1 / 9,5 (S2)	3,1 / 9,63 (S2)
		(S3)	(S3)		38x38 (S3)	17,7 / 16,9 (S3)	2,1 / 10,4 (S3)
f=1GHz	4,62 (S2)	5,64	0,77 (S2)	1,11	26,6x26,6 (S2)	15,3 / 11,6 (S2)	1,8 / 10,2 (S2)
		(S3)	(S3)		35,8x35,8 (S3)	48,3 / n.a. (S3)	1,1 / n.a. (S3)

Tableau 1. Caractéristiques des matériaux S2 ($T=800^\circ\text{C}$) et S3 ($T=900^\circ\text{C}$), (n : facteur de miniaturisation et Z/Z_0 : impédance réduite), et performances des antennes patch intégrant les matériaux de type S2 et S3. Le tableau montre les performances calculées (relations (1) pour BW et (2) pour η) et simulées (HFSS, en police de caractère *gras italique*).

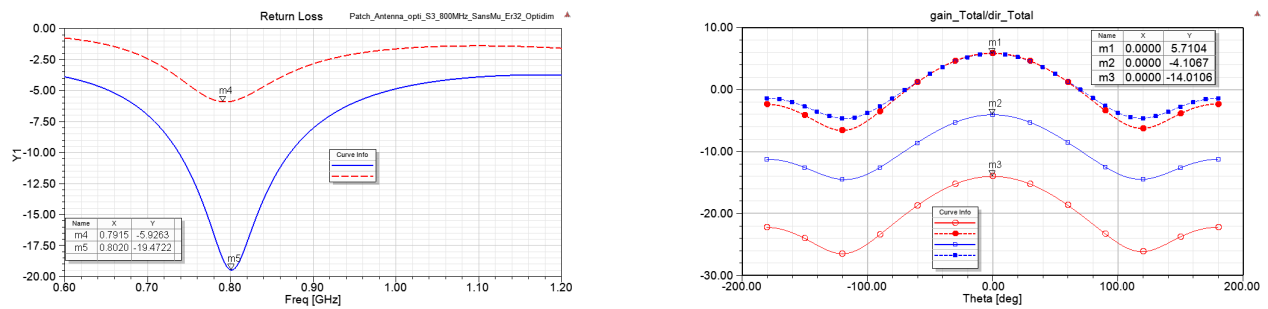
19^{èmes} Journées Nationales Microondes
2-5 Juin 2015 - Bordeaux

Figure 4. Comparaison des coefficients de reflexion, directivités et gains, de deux antennes patch, réalisées soit avec le matériau S3, (traits bleus, $\mu=6.46$, $\epsilon=5.06$) soit avec un diélectrique pur (traits rouges, $\epsilon=5.72$). Le facteur deminiaturisation ($n=5.72$) et les pertes ($\text{tg}\delta=0.226$) ont été conservés à l'identique pour les deux substrats.

Performances des antennes ($f=0.8\text{GHz}$)		
	sur substrat magnétodiélectrique (S3)	Sur substrat diélectrique
perméabilité μ	6,46	1
permittivité ϵ	5,06	5,72
$\text{tg}\delta$	0,226	0,226
n	5,72	5,72
$W \text{ (mm}^2\text{)}$	38x38 (S3)	31,9x31,9
Z/Z_0	1,13	0,42
Adaptation à la résonance	- 19,5dB	- 5,93dB
η	10,4	1,02

Tableau 2. Synthèse des performances d'antennes patch sur substrats magnétodiélectrique ou diélectrique , à facteur de miniaturisation et valeur des pertes constants. L'absence de propriétés magnétiques conduit à la dégradation des performances de l'antenne.

5. Conclusion

Les résultats obtenus mettent en évidence tout d'abord l'évolution des propriétés de l'antenne avec la température de cuisson T_M du matériau magnéto-diélectrique employé. Des critères de choix peuvent être énoncés. Par exemple, pour une application à 0.8GHz, il sera préférable de choisir $T_M=900^\circ\text{C}$ si l'on souhaite privilégier l'efficacité, alors que pour des applications à 0.4GHz comme à 1GHz on pourra être amené à choisir $T_M=800^\circ\text{C}$. Dans la seconde partie de cette étude, nous avons confirmé l'avantage qui existe à employer des substrats magnétodiélectriques dans la miniaturisation d'antennes, à facteur de miniaturisation donné.

Bibliographie

- [1] Y. Hwang, Y.P. Zhang, G.X. Zheng, T.K.C. Lo, Electron. Lett. 31 (1995) 1710–1712.
- [2] R.C. Hansen, Fundamental limitations in antennas, IEEE proceedings vol.69, pp.170, 1981.
- [3] C. Niamien, S. Collardey, A. Sharaiha, K. Mahdjoubi, IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett. 10 (2011) 63–66.
- [4] L. Huitema, T. Reveyrand, J.L. Mattei, E. Arnaud, C. Decroze, T. Monediere, IEEE Trans. Antennas Propag. 61 (2013) 4456–4466.
- [5] L.B. Kong, Z.W. Li, L. Liu, R. Huang, M. Abshinova, Z.H. Yang, et al., Int. Mater. Rev. 58 (2013) 203–259.
- [6] J.L. Mattei, E. Le Guen, A. Chevalier, A. Tarot, J. Magn. Magn. Mater. 374 (2015) 762–768.
- [7] J.L. Mattei, E. Le Guen, A. Chevalier, J. Applied Physics, 117 (2015) 084904.